

**PRV**PATENT- OCH REGISTRERINGSVERKET  
Patentavdelningen

FILED 12 JUL 2004

WIPO PCT

PCT / SE 2004 / 0 0 0 9 9 5

REC'D 12 JUL 2004

WIPO PCT

**Intyg  
Certificate**

Härmed intygas att bifogade kopior överensstämmer med de handlingar som ursprungligen ingivits till Patent- och registreringsverket i nedannämnda ansökan.

This is to certify that the annexed is a true copy of the documents as originally filed with the Patent- and Registration Office in connection with the following patent application.



(71) Sökande Claes Hedberg, Karlskrona SE  
Applicant (s)

(21) Patentansökningsnummer 0301801-7  
Patent application number

(86) Ingivningsdatum 2003-06-23  
Date of filing

Stockholm, 2004-06-29

För Patent- och registreringsverket  
For the Patent- and Registration Office

Marita Öun

Avgift  
Fee

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

Claes Hedberg

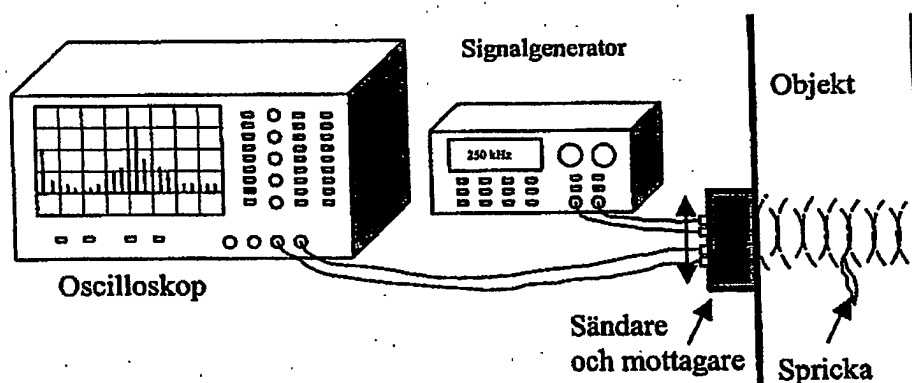
**Lokalisering av skador och sprickor genom ett sätt att använda öppen resonator-begreppet inom ickeförstörande provning och ett sätt att använda försvinnande ljudet, och sätt att förstärka signalen genom öppen resonator för ickeberörande signalöverföring till objekt och strukturer.**

### 1. Lokalisering av skador i strukturer.

Denna metod används med fördel för utbredda strukturer tex tunna plattor, rör etc. Det fungerar så att man använder en sändare som ger en vibration på objektet som är av sådan frekvens och diameter, avpassad för objektets geometri och materialegenskaper, att det bildas en stående våg inuti objektet, mellan vibrationsytan (tex sändaren) och någon yta i objektet. Vid rätt val av parametrar blir den stående vågen i huvudsak begränsad till ett litet område, tex området mellan sändaren och motstående vägg i objektet.

Denna stående vågs geometriska begränsning gör att det enbart är skador inom området som ger utslag av stor betydelse vid mätning. Begreppet kan med fördel användas tillsammans med ickeinjära metoder där den stående vågen skulle vara högfrequensen i tex Nonlinear Wave Modulation Spectroscopy där den stående vågen blandas med en lågfrekvent signal som ger sidband, eller andra metoder som utnyttjar begreppet Slow Dynamics (långsam dynamik), se WO 02/079775 som beskriver ett objekts materialegenskapers förändringar vid yttre påverkan såsom tex temperaturändringar, slagpåverkan, tryckändringar eller ultraljudspåverkan.

En bild på prototyp finns i Bild 1.



*Bild 1. En prototypbeskrivning. Från vänster finns ett oscilloskop för detektering av signal, en signalgenerator för skapande av signal som sänds till sändaren, en grå låda som innefattar både sändar- och mottagar-element. Mellan de två vertikala strecken som betecknar väggar hos ett objekt. De böjda kurvdelarna inuti objektet (mellan strecken) betecknar en resonant ljudvåg. Sändar och mottagarelementet skall kunna vara flyttbart över ytan.*

Det kan finnas många alternativ till utseende hos apparaturen. Tex kan både signalgenerator och oscilloskop kunna ersättas av kort som insätts i en bärbar dator, där också annan speciell mjukvara för styrning av utsignal och analys och behandling av mätsignal kan finnas. Exempelvis kan man ha automatisk frekvensstyrning så att man hela tiden ligger i resonans även om förutsättningarna ändras, tex om man flyttar sändar- och mottagarelementet över ytan kan tjockleken ändras så att resonansfrekvensen för den valda moden ändras. Då bör också sändarfrekvensen följa efter.

Sändar- och mottagar-elementet (grå rektangeln) kan också se ut på många sätt. Sändaren kan bestå av ett plan eller ett konkavt sändarelement, eller av många små element. Med en konkav sändare kan man koncentrera den stående vågen mer till mitten, se bild 2 där en plan sändare i en öppen resonator jämförs med en konkav. Notera att för den konkava där ljudfältet är mer koncentrerat och amplituden i mitten ligger ungefär 5 gånger högre än för plana. Detta beror, förutom på den geometriska koncentrationen av energi, också på att den konkava reflexionen gör att vågen blir mjukare i tidsplanet, utan stötar, så mindre energi försvinner i den så kallade icke linjära dämpningen.

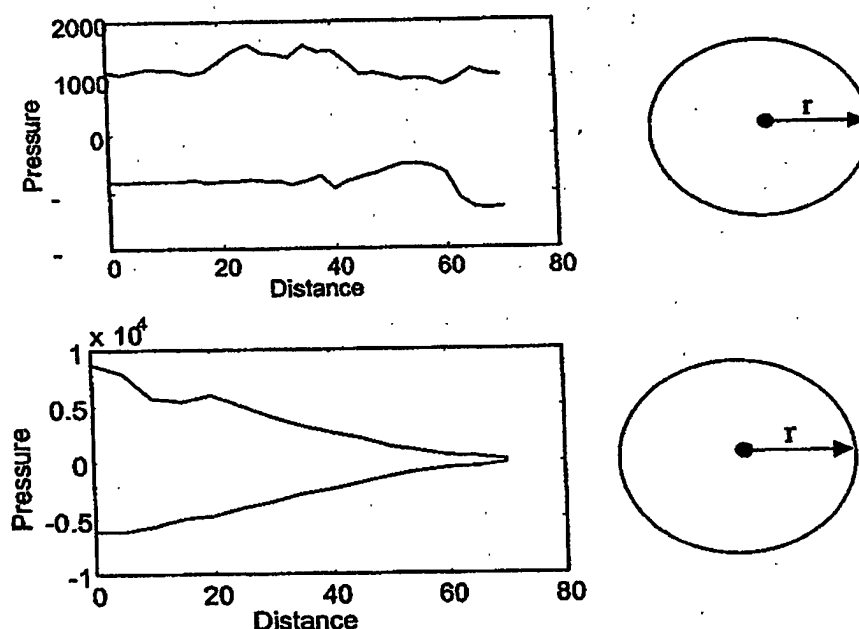


Bild 2. Tryck som funktion av radien i en öppen resonator med två plana plattor överst, och en med en plan och en konkav platta, nederst.

Med en sändare med flera små element kan den stående vågen också fås mer koncentrerad mot mitten, och man kan också styra ljudfältet åt olika håll.

Mottagaren kan vara ett enda element eller flera för bättre mottagning och för bättre lokalisering. Man kan också avläsa ljudfältet vid sidan av sändarelementet med tex separata sensorer (exempelvis piezoelektriska eller laser) eller på andra ytor av objektet, exempelvis på en plattas motsatta sida.

Resultat av experiment gjorda på en stor plexiglasplatta med en sändare som är 30 mm i diameter visas i bild 3. Som synes så har vi ett ljudfält som ligger begränsat till mindre än 10 cm från sändaren med den helt dominerande delen av energin koncentrerad till en radie av 2 cm för den högsta frekvensen.

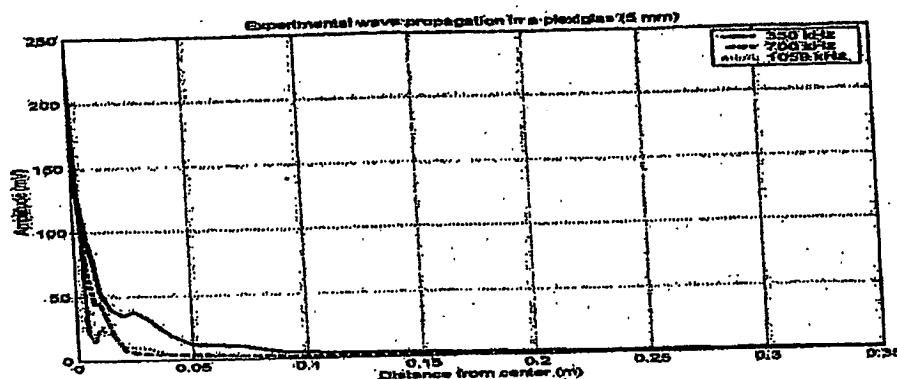


Bild 3. Experimentellt uppmätta tryckamplituder som funktion av radien för de tre första transversellt stående vågorna. Plexiglas 5 mm tjockt. .

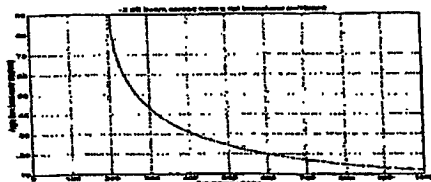
Detta begränsade ljudfält har en konsekvens som innebär en användning för en fungerande lokalisering prototyp som använder någon av de nya väldigt känsliga icke linjära metoderna för detektering av mikro- eller makro-sprickor tex för begynnande utmattnings i behovsbaserat underhåll eller vid kontroll av komponenter i tillverkningsindustri.

Detta ljudfält kan nämligen utgöra det resonanta signalen vid användning av olika tillämpningar av Slow Dynamics för oförstörande provning, se WO 02/079775. Man kan notera att de icke linjära metoderna använder avsevärt lägre frekvenser än den vanliga linjära eftersom metoden bygger på att material-parametrarna förändras och kan därmed användas på större objekt eller på objekt med stor dämpning - ju högre frekvens desto högre dämpning. Linjära metoder använder ofta våglängder så små att ljudvågorna "ser" sprickorna (små våglängder = höga frekvenser). Detta gör att det lokaliserade ljudfältet inte är lika fördelaktigt för alla linjära akustiska metoder för materialprovning, men man kan naturligtvis använda principen för olika linjära mätningar också.

Man kan relativt lätt bygga en prototyp liknande den ovan och det är önskvärt. Det är svårt att säga allmänt exakt storleken på alla parametrar för varje enskilt fall eftersom de är ganska många och beror exempelvis på materialegenskaper, objektstorlek, objektgeometri, sändarstorlek, sändareffekt och ytjämnhet. Några riktlinjer skall redovisas.

Strålvinkel som funktion av frekvensen, och av sändarradien för en plan sändare med radie 15 mm visas i Bild 4.

Desto mindre strålvinkel desto bättre, ty då sprids inte energin utan hålls samlad nära sändaren.



visas

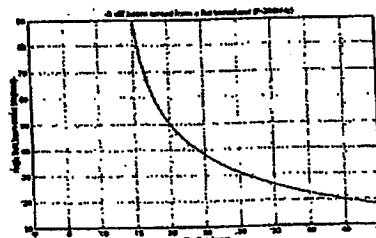


Bild 4. Vänster: Strålvinkel som funktion av frekvensen för en sändare med radie 15 mm.

Höger: Strålvinkel som funktion av radien på sändaren för en fast frekvens (200kHz).

Q-faktorn är en resonators kvalitetstal, ju högre desto bättre. ( Ett exempel på en resonators förmåga att öka amplituden på en våg kan ses i Bild 8.4 sid 249 i boken "Theory of nonlinear acoustics in fluids" B. Enflo och C. Hedberg, Kluwer Academic Publishers 2002, ISBN 1-4020-0572-5. Där exciteras en resonator med en amplitud på 0.002 och ett vågfält med en amplitud på ungefär 1 uppnås. Q-faktorn blir då  $1/0.002 = 500$ . )

När vi har en bakomliggande struktur, tex balk se bild 5, kommer också området framför den bakomliggande strukturen att exciteras om ljudkällans exciterande område ligger utanför strukturen till stor del. Då kommer resonansen vid de platta delarna (utanför balkens område) att också excitera området innanför, liknande som området vid sidan av en öppen resonator får ett betydande ljudfält. Fast det kommer naturligtvis inte att bli lika stort som om balken inte fanns.

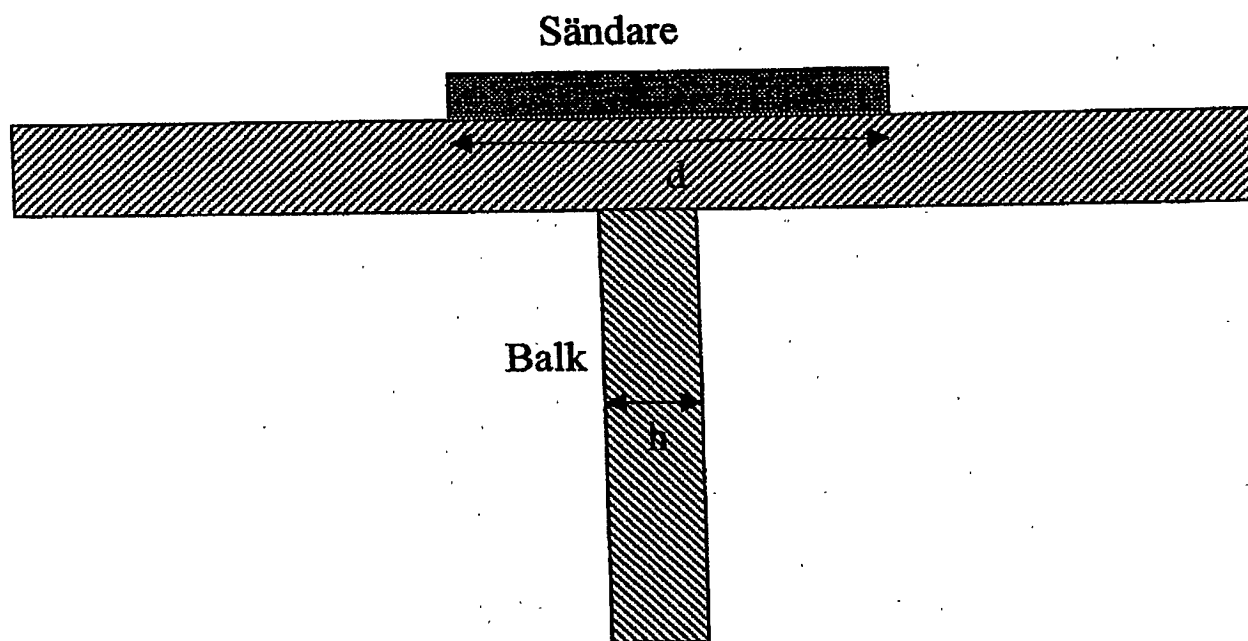


Bild 5. Exempel på struktur med vägg och balk bakom.

## 2. Förbättring av kontaktlös överföring från sändare till objekt.

Vid många tillämpningar av akustiska ickeförstörande provningsmetoder (tex linjära och icke linjära ultraljudsmetoder) är det önskvärt eller tvunget att använda kontaktlösa metoder för oförstörande provning. Vid de icke linjära metoderna kan man använda tex en laser eller mikrofon för att avläsa vibrationerna. Den lågfrekventa delen kan genereras av tex en luftpistol, medans den högfrekventa delen i nuläget är svårare pga den stora impedansskillnaden mellan sändare och luft, och mellan luft och sändare. För att förbättra energiöverföringen kan man använda begreppet öppen resonator. En resonator tar tillvara energin i svängningar och samlar den genom att utnyttja existerande moder i strukturer. Luften mellan det objekt som vi vill ha in ljudenergin i och sändaren har således också moder. Detta är allmänt känt och stående vågor används bla för att levitera små objekt i luft. Men detta koncept ger också en flerfaldig ökning av vågamplituden vid den passiva sidan i resonatorn se bild 6 A. Om vi låter den passiva sidan vara vårt försöksobjekt kommer många gånger mer energi in i objektet än om resonans inte används. Konceptet är gångbart både vid linjära och icke linjära metoder. Första resonansmoden inuti objektet skulle kunna påminna om formen på Bild 6 B eftersom objektet är hårt med mjuk luft eller annan fluid omkring sig - därmed inte sagt att någon resonansmod alls behöver förekomma i objektet i samband med detta avsnitt. Däremot hör det till avsnitt 1 där resonans utnyttjas.

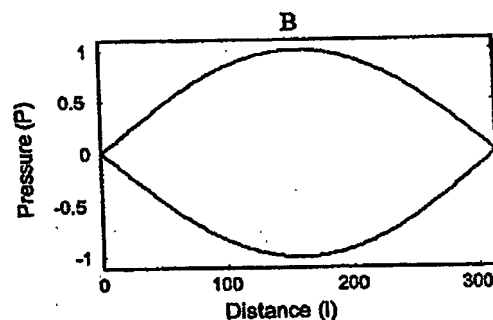
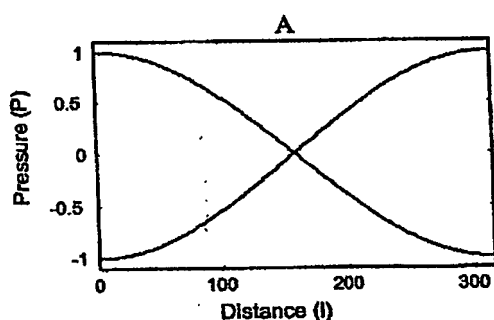
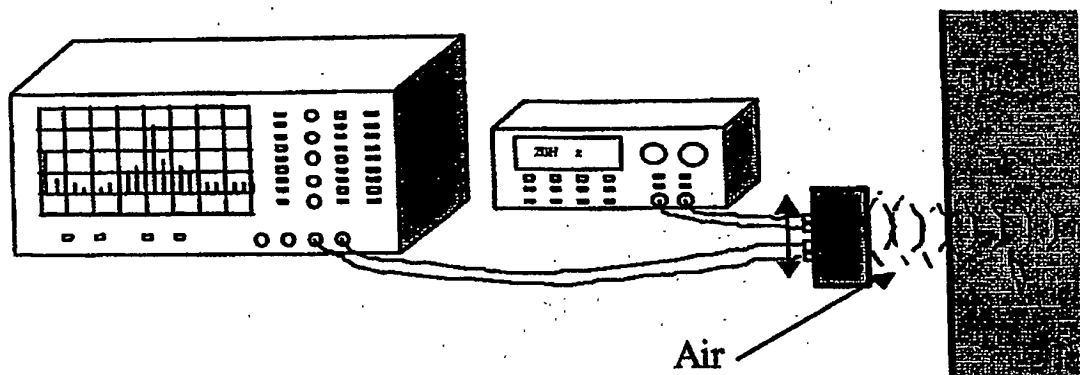


Bild 6. Tryckfördelning för den första moden för resonator med hårda ytor A, och med mjuka (pressure release) ytor B.

Resonansen uppstår då avståndet mellan sändare och objekt, ljudhastigheten i mediet emellan objekt och sändare (tex luft), och sändarens frekvens och diameter uppfyller de villkor som gäller för en öppen resonator (se avsnitt 1 ovan). En schematisk bild på uppställning finns i bild 7.



*Bild 7. Öppen resonatorsändare. Man använder resonansen mellan sändare och objekt. I bilden kan förstås också resonans existera inuti objektet samtidigt.*

När en sändare väl är byggd kan man alltså ändra både frekvens och avståndet emellan sändare och objekt för att ställa in kriterierna för resonans.

### 3. Spricklokalisering med försvinnande ljud.

Använd parametrisk sändare med försvinnande ljud så att bara ett visst område exciteras av skillnadsfrekvens i pulsen. Denna version av lokalisering kräver inte lokaliserat resonansljud såsom beskrivet ovan. Vi kommer att tala om två nivåer på icke linjaritet.

I det nedan använder vi skillnadsfrekvensen som exempel på den frekvens av intresse som skapas och sedan släcks ut med högre frekvenser. Det behöver inte vara en skillnadsfrekvens utan kan vara en annan frekvens vid andra sorters modulationer, tex vid frekvens eller amplitud moduleringar av signaler. Men vi låter den lokalt förekommande frekvensen heta "skillnadsfrekvens" eftersom exemplet nedan använder sig av skillnadsfrekvens. Det konceptet är dessutom lättast att förstå, jfr svenska patentansökningen nr 0104201-9. Den första som skapar skillnadsfrekvensen är materialets inneboende icke linjaritet som antas vara ganska låg. Detta betyder att styrkan på de signaler som skall skapa ( $f_2$  och  $f_2 + \Delta$ ) och släcka ut ( $f_1$  och  $f_1 + \Delta$ ) skillnadsfrekvensen måste vara stora.

Den andra icke linjariteten av betydelse är den som visar på sprickförekomst. Eftersom sprickor är mycket starkt icke linjära så är denna icke linjaritet oftast flera storleksordningar större än materialets naturliga icke linjaritet så styrkan på de signalerna ( $\Delta$  och  $f_0$ ) som skall bilda sidbanden vid sprickförekomst måste inte vara så starka.

Nu följer en beskrivning på vilka frekvenser som skickas in i materialet och vilka som bildas. Två höga frekvenser med hög amplitud  $f_2$  och  $f_2 + \Delta$  samverkar icke linjärt pga mediets inneboende icke linjaritet och ger parametriskt en skillnadsfrekvens  $\Delta$ . Denna frekvens har mycket mindre amplitud än  $f_2$  och  $f_2 + \Delta$ .

Låt oss också ha en frekvens  $f_0$  som möjligen ligger i resonans. Denna frekvens motsvarar den högfrekventa resonansfrekvensen tidigare nämnd, medans den lågfrekventa signalen i detta fall motsvaras av frekvensen  $\Delta$ . Den kan därför skapa ett sidband runt frekvens  $f_0$  (som möjligen är i resonans) och ger bla sidband  $f_0 + \Delta$  och  $f_0 - \Delta$  runt  $f_0$ .

Sedan utsläcks frekvensen  $\Delta$  genom två andra höga frekvenser med hög amplitud  $f_1$  och  $f_1 + \Delta$  som bildar motljud till den bildad av  $f_2$  och  $f_2 + \Delta$ .

Detta innebär att sidbanden kan bara skapas inom den regionen där skillnadsfrekvensen  $\Delta$  finns, således kan vi lokalisera skadan till denna regionen, de kan förstås avläsas utanför regionen.

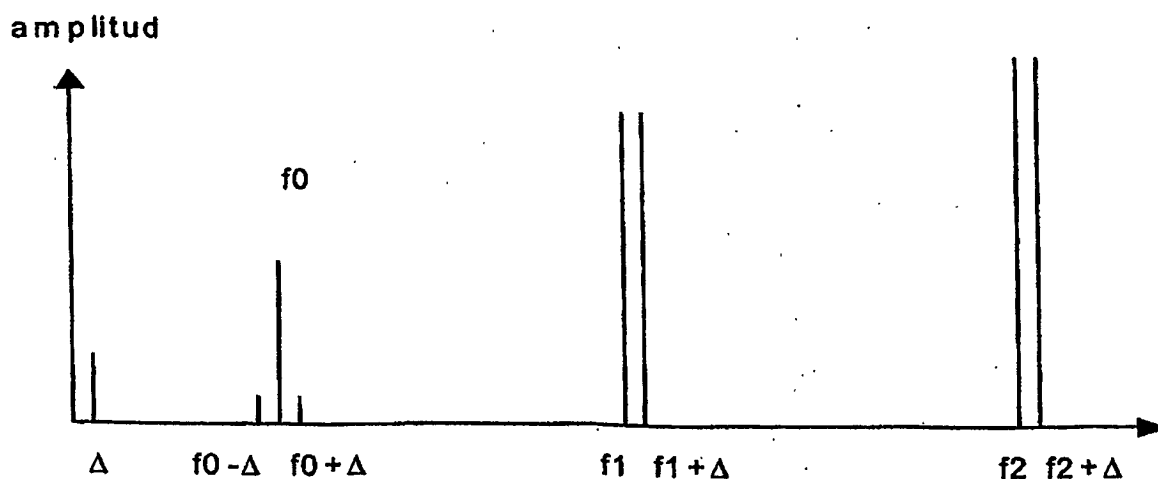
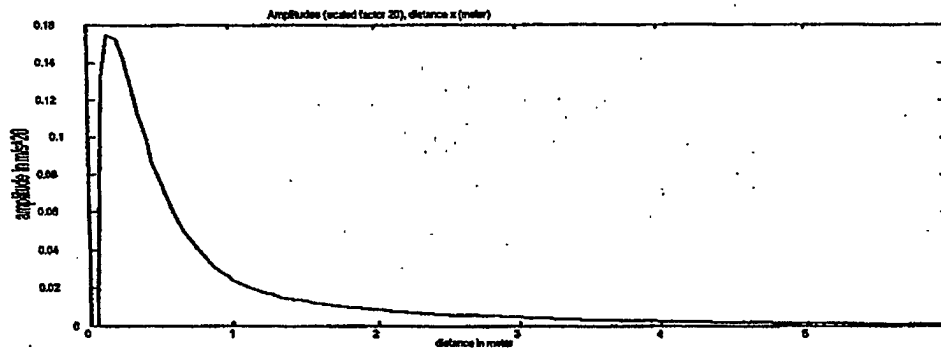


Bild 8. Schematisk figur med frekvensernas relativa positioner med konceptuella amplituder angivna.



För mer information om hur försvinnande ljud skapas, se svenska patentansökan nr 0104201-9..

Parametrisk ljud har automatiskt en liten strålvinkel och är på så sätt lokaliserat i radiell led. Dessutom kan man i utbredningsriktningen alltså begränsa så att området som undersöks ser ut konceptuellt som det gråtonade området i bilden.



Sändare

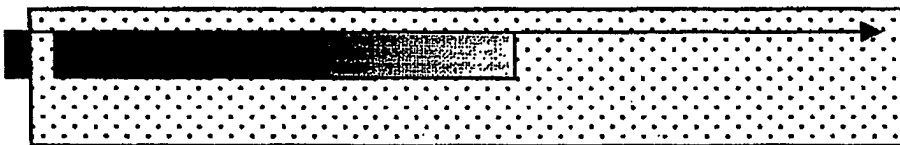


Bild 9. Överst: endimensionell bild på amplituden hos skillnadsfrekvensen hos det försvinnande ljudet. Frekvensen skapas och släcks sedan ut.

Nedan: Objekt (prickat) med sändare (svart) och ungefärlig region för försvinnande ljudets frekvens (grått).

Med en fasstyrd sändare med flera sändarelement kan man styra riktning av strålen, och med olika frekvensval kan man styra var skillnadsfrekvensen skall förekomma. Således kan man undersöka flera olika regioner utan att ens flytta sändaren och på detta sätt lokalisera områdena med skador.